Etalonnage de robots par vision

Nicolas Andreff

Novembre 2012

Fondation unit
Université Numérique Ingénierie et Technologie

GDR ROBOTIQUE

Institut Français de Mécanique Avancée

U.V. Etalonnage et Identification des Systèmes

Travaux Pratiques : Etalonnage de la plateforme de Gough

Nicolas Andreff

Dernière modification : Automne 2008

Le but de ce TP est de s'initier à l'identification géométrique de robots parallèles. Nous allons en rappeler rapidement les principes de manière générale, puis nous appliquerons la méthodologie ainsi présentée à la plateforme de Gough-Stewart [1, 2] présentée en Figure 1.

FIGURE 1 – La plateforme de Gough-Stewart observée par une caméra

1 Moyens expérimentaux

- *Plateforme de Stewart* de la société DeltaLab
- pilote Linux de la carte AddiData APCI3120
- bibliothèque ViSP de l'équipe lagadic de l'IRISA Rennes
- programmes faits maison pour le pilotage du robot et l'acquisition d'images

2 Méthode

Les robots parallèles (ou encore machines à structure cinématique parallère, en anglais Parallel Kinematic Machines) sont tels qu'ils contiennent des chaînes cinématiques fermées. La manière la plus simple, et la plus répandue, pour décrire leur cinématique consiste à écrire des équations dites de fermeture cinématique, c'est-à-dire des équations de contrainte liant les variables articulaires $\boldsymbol{q}$ à la pose de l'effecteur X, par l'intermédiaire des paramètres géométriques ξ_{geom}.

On obtient ainsi une formulation sous forme d'équation implicite (c'est le modèle géométrique implicite) de la forme :

$$f(\boldsymbol{q}, \mathsf{X}, \xi_{geom}) = 0 \tag{1}$$

dont on peut en général extraire (assez) facilement, par manipulation algébrique, le modèle géométrique inverse de la forme :

$$\boldsymbol{q} = g(\mathsf{X}, \xi_{geom}) \tag{2}$$

mais dont il est en général ardu (et même souvent impossible) d'extraire le modèle géométrique direct habituel.

Pour étalonner un robot parallèle, on peut donc se baser sur une des deux équations précédentes, ce qui nécessite la mesure de la pose X. Or, il est impossible de mesurer directement la pose de l'outil par rapport à la base, ce qui laisse à penser qu'il est nécessaire, comme dans le cas sériel, de rajouter dans la liste des paramètres du modèle deux transformations rigides entre le repère de base et le repère de référence du système de mesure d'une part et entre le repère outil et le repère de la cible du système de mesure d'autre part. Ceci amène donc à réécrire les deux modèles sous la forme :

$$f'(\boldsymbol{q}, {}^c\boldsymbol{T}_m, \xi'_{geom}) = 0 \tag{3}$$
$$\boldsymbol{q} = g'(\boldsymbol{q}, {}^c\boldsymbol{T}_m, \xi'_{geom}) \tag{4}$$

où ξ'_{geom} est le vecteur contenant les paramètres géométriques intrinsèques au mécanisme et les deux transformations supplémentaires (avec d'éventuels regroupements de paramètres) et ${}^c\boldsymbol{T}_m$ est la mesure de la pose fournie par le capteur extéroceptif. On notera c le repère fixe par rapport à la base et m le repère fixe par rapport à l'outil.

Néanmoins, le modèle géométrique implicite est souvent obtenu en exprimant le carré d'une longueur (bien choisie sur le mécanisme) de deux manières différentes. Comme une longueur est indépendante du repère dans lequel on l'exprime, cela va permettre d'écrire les modèles géométriques directement sous la forme :

$$f''(\boldsymbol{q}, {}^c\boldsymbol{T}_m, \xi''_{geom}) = 0 \tag{5}$$
$$\boldsymbol{q} = g''(\boldsymbol{q}, {}^c\boldsymbol{T}_m, \xi''_{geom}) \tag{6}$$

où ξ''_{geom} contient *les mêmes* paramètres que ξ_{geom}, mais exprimés dans les repères associés à la mesure et non ceux associés au robot. Notons qu'alors, la commande peut se faire directement dans l'espace de mesure (commande référencée capteurs, asservissement visuel) ou alors dans un repère de base du robot qu'il va falloir reconstruire à partir de ξ''_{geom}.

3 Application à la plate-forme de Gough

3.1 Ecriture du modèle classique

En considérant la jambe i du mécanisme, écrivez le modèle géométrique implicite en fonction de la variable articulaire q_i, de la pose de l'effecteur dans le repère de base ${}^b\boldsymbol{T}_e$ et des coordonnées des points d'attache de la jambe sur la base ${}^b\boldsymbol{A}_i$ et sur la plate-forme mobile ${}^e\boldsymbol{B}_i$.

Déduisez-en le modèle géométrique inverse.

Suggérez une méthode pour résoudre le problème géométrique direct.

Pourquoi faut-il préférer le modèle géométrique implicite au modèle géométrique inverse pour l'étalonnage ?

3.2 Ecriture du modèle dans le repère de mesure

Montrez que le modèle géométrique implicite s'écrit comme une contrainte, pour chaque jambe i, entre q_i, la pose fournie par le capteur extéroceptif ${}^c\boldsymbol{T}_m$ et les coordonnées des points $\boldsymbol{A}_i$ et $\boldsymbol{B}_i$ exprimées dans les repères adéquats.

Montrez que l'étalonnage peut se faire pour chaque jambe indépendamment des autres.

3.3 Etalonnage

Rappelez l'algorithme de minimisation d'un critère non-linéaire.

Donnez l'expression du régresseur dans le cas du modèle géométrique implicite de la plate-forme de Gough, exprimé dans le repère de mesure.

4 Expérimentation

Analysez l'architecture mécatronique du système.

4.1 Préparation

Demandez à votre enseignant préféré, un nom d'utilisateur et un mot de passe pour le PC de commande de la plate-forme de Gough. Si besoin, demandez-lui également une caméra numérique au standard FireWire ou IEEE1394.

Ouvrez une fenêtre de commande (`konsole` ou `terminal`).

Plusieurs outils logiciels vous permettent de finir de préparer votre dispositif expérimental :

- La commande `grab1394` vous permet de visualiser à l'écran la sortie de la caméra numérique ;
- La commande `AcquiImages` vous permet d'enregistrer des images dans un répertoire daté de la date et l'heure courante ;
- La commande `calibrate2dGrid` vous permet à partir d'une série d'images d'étalonner la caméra (`calibrate2dGrid -h` fournit un bref mode d'emploi).

Profitez-en pour mettre en place votre dispositif expérimental.

4.2 Acquisition de données

Lancez l'éditeur de votre choix en tapant

`xemacs&`

en ligne de commande

Ouvrez un nouveau fichier (dans le menu File, choisir Open... et donnez un nom à votre fichier dans la partie basse de la fenêtre qui s'ouvre) et entrez-y une séquence articulaire pour l'identification de la forme :

N
q1_1 q2_1 q3_1 q4_1 q5_1 q6_1
...
q1_N q2_N q3_N q4_N q5_N q6_N

Les variables articulaires doivent être exprimées en unités moteurs et sont comprises entre 5000 et 12000. Sauvegardez votre fichier.

Expliquez comment vous avez choisi la séquence.

Vérifiez que la plate-forme est allumée et que la caméra l'est également.

Dans la fenêtre de commande, vous pouvez alors lancer le programme qui va acquérir des couples (variables articulaires/poses 3D) et les sauvegarder dans deux fichiers désignés par la date et l'heure courante :

`SequenceArtImages -f <nom\_fichier>`

où `<nom_fichier>` désigne le nom de votre fichier. Si besoin, déplacez la fenêtre dans laquelle s'affiche l'image pour avoir de nouveau accès à la fenêtre de commande.

Faites une deuxième séquence pour validation.

Rapatriez les fichiers sauvegardés vers un PC doté de Scilab ou Matlab.

5 Exploitation des données

5.1 Ecriture du code Matlab

Ecrire la fonction `MGI_indiv` qui calcule l'écart au modèle géométrique implicte pour une jambe et une configuration de la plate-forme.

Ecrire la fonction `Regresseur_indiv` qui calcule le régresseur.

Ecrire la fonction `MGI_total` qui calcule le vecteur de tous les écarts au modèle géométrique implicte pour une jambe et toutes les configurations de la plate-forme.

Ecrire la fonction `Regresseur_total` qui calcule le régresseur de tous les écarts au modèle géométrique implicte pour une jambe et toutes les configurations de la plate-forme.

Ecrire la fonction `identification` d'optimisation non-linéaire.

Appliquer la méthode à chacune des jambes pour la première séquence que vous avez enregistrée.

Valider sur la deuxième séquence.

Références

[1] V.E. Gough and S.G. Whitehall. Universal tyre test machine. In *Proceedings of the FISITA* 9^{th} *International Technical Congress*, pages 117–137, 1962.

[2] D. Stewart. A platform with six degrees of freedom. In *Proc. IMechE (London)*, volume 180, pages 371–386, 1965.